EL CAMBIO CLIMÁTICO: SUS CAUSAS Y EFECTOS MEDIOAMBIENTALES

CLIMATE CHANGE: CAUSES AND ENVIRONMENTAL EFFECTS

José Luis Useros Fernández [1]

[1] *Académico de Número, Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*

Consejería de Sanidad de la Junta de Castilla y León, Valladolid

Correspondencia: Dr. José Luis Useros Fernández. Tfno: 983413618. E-mail: Useferjo@jcyl.es

Comunicación presentada el 22 de Noviembre de 2012.

An Real Acad Med Cir Vall 2013; 50: 71-98

RESUMEN

El cambio climático ocupa hoy uno de los primeros lugares entre los problemas que afectan a la humanidad, por sus efectos medioambientales y, sobre todo, porque su principal determinante es el incremento de los gases de efecto invernadero, resultantes de las actividades humanas.

El clima, considerado a escala de media y variabilidad, no de valores puntuales, de temperatura, vientos y precipitaciones es el resultado de la interacción de la radiación solar, la órbita terrestre, la latitud, la composición atmosférica, las corrientes oceánicas, el efecto albedo y, sobre todo, los efectos antropogénicos.

La aceleración del cambio climático en las últimas décadas, resultado del incremento de gases de efecto invernadero producidos por el uso de combustibles fósiles, es una realidad social que amenaza gravemente a distintos ecosistemas.

El incremento de la temperatura global ocasionada por el efecto invernadero es responsable del aumento del nivel del mar, de la disminución de las capas de nieve y hielo así como del cambio de tendencia en las precipitaciones y todo ello afectará a los sistemas naturales vinculados al hielo, a los sistemas hidrológicos y a la calidad de las aguas, a los sistemas biológicos marinos y de agua dulce y a la productividad agrícola y forestal.

Estudiar las causas del Cambio Climático y conocer la evolución de sus determinantes, permite plantear, como hace el IPCC, posibles escenarios de evolución climática general según factores demográficos, tecnológicos y de consumo energético, y sus efectos tanto a nivel mundial como en el territorio de la Unión Europea.

Palabras clave: Climate change, environmental effects.

VISIT…

LANZAROTE

Caliente.com

SUMMARY

Climate change is now one of the biggest issues facing humanity because of its environmental effects and, above all, because its main determinant is the increase of greenhouse gases resulting from human activity.

Climate, considered on an average and variability scale, and not simply specific valuesof temperature, wind and precipitation, is the result of the interaction of solar radiation, theEarth's orbit, latitude, atmospheric composition, ocean currents, the albedo effect and, above all, anthropogenic effects.

The acceleration of climate change in recent decades, as a result of increased greenhouse gases produced by burning fossil fuels, is a social reality that poses a serious threat to different ecosystems.

The increase in global temperature caused by the greenhouse effect is the cause of sealevel rise, the decline of the layers of snow and ice as well as the changing trend in rainfall. All these affect natural systems linked to ice, hydrological systems and water quality, biological sea and freshwater systems, and agricultural and forest productivity.

Studying the causes of climate change and the evolution of its determinants, as the IPCC does, allows us to present general climate evolution scenarios according to demographic, technological and energy consumption factors, as well as its effects both within the European Union and globally.

Key words: Cambio climático, efectos medioambientales

INTRODUCCIÓN

El cambio climático, lo mismo que la evolución demográfica, la brecha norte sur o la globalización, ha accedido a los primeros puestos del ranking de preocupaciones sociales, a pesar de las incertidumbres, y esto es así porque su principal responsable son las actividades humanas, por los efectos medioambientales y sobre la salud de la población y, sobre todo, porque es otra cuestión mas de países desarrollados y subdesarrollados, pobres y ricos, de justicia o de inequidad, de repartir cargas y esfuerzos, de tensiones entre explotadores de recursos y sociedades explotadas o, simplemente, de controlar el uso de combustibles y del uso de la tierra y, en resumen, de actuar con responsabilidad para esta y sucesivas generaciones, cuyo bienestar debe mejorarse con el desarrollo tecnológico.

El sistema climático es un sistema complejo e interactivo, considerado por la Convención de las Naciones Unidas de 1992, integrado por atmósfera, hidrosfera, geosfera, la biosfera y sus interacciones, junto a los distintos ecosistemas en los que habitan los seres vivos, con todas sus interacciones, positivas y negativas, y sus consecuencias.

Son sobradamente conocidas las interrelaciones del sistema hidrológico y los ciclos del agua, con la atmósfera y sus componentes, y la dependencia que de estos dos tienen los distintos ecosistemas vivos. Las variaciones en uno y otro y, especial-

mente la variación en los componentes atmosféricos, determinan las características del clima y los efectos de este sobre los seres vivos y la especie humana, en particular.

El clima no es un parámetro puntual, sino que se describe en términos de media y variabilidad a escala de tiempo determinada y estándar de temperatura, precipitaciones y vientos. El clima evoluciona en el tiempo como consecuencia de factores ajenos al mismo, como son la latitud geográfica, la altitud, la distancia al mar, las orientaciones del relieve terrestre respecto al sol, la dirección de los vientos y las corrientes oceánicas. Estos factores y sus variaciones en el tiempo producen cambios en los elementos constituyentes del clima, como son temperatura, presión atmosférica, vientos, humedad y precipitaciones, de forma que las fluctuaciones en el tiempo pueden ser consideradas como sistemáticas o caóticas.

Las variaciones de temperatura condiciona la presión atmosférica, por las diferencias de densidad del aire al calentarse o enfriarse y origina zonas ciclónicas, de baja presión o anticiclónicas, de alta presión. Las diferencias de presión producen los vientos, de anticiclones a ciclones, y transportan la humedad y las nubes dando lugar a una irregular repartición de las precipitaciones.

La temperatura de la atmósfera es el resultado de un complejo equilibrio de energía, debido a las radiaciones solares, a la composición de la atmósfera, a los cambios en los continentes, a las corrientes oceánicas y a la orbita de la tierra. La rotura de este equilibrio, ya sea por fuerzas externas al clima, denominadas forzamientos, o por factores internos, moderadores o amplificadores, ocasionan los cambios climáticos.

La *radiación_solar* es el elemento determinante de la temperatura terrestre y el motor de todos los fenómenos atmosféricos. Ya Galileo, a partir de 1610 relato la existencia de manchas solares, y Heinrich Schawe en 1851 describió los ciclos solares de once años y Maunder describió el Minimo de Maunder, periodo de 1645 a 1715, sin manchas solares y con menor energía solar. Las variaciones de los campos magnéticos, de los vientos solares y de la interacción de los rayos cósmicos con partículas atmosféricas forman núcleos de condensación y modifican el aire y las nubes.

El sol, de acuerdo con la Ley de Wien emite a la tierra radiaciones (342W/ metro cuadrado) de corta longitud de onda, (máximo 0, 48 nm) del espectro visible o casi visible, de los que un 31% es directamente reflejado al espacio por las nubes, aerosoles y atmósfera. El resto es absorbido por la atmósfera y la tierra, que refleja otra pequeña parte. La tierra, para mantener el equilibrio debe irradiar la misma cantidad y lo hace con ondas de mayor longitud de onda (10-15 nm) (infrarrojas), siendo una parte de ellas devuelta a la atmósfera, en un fenómeno de efecto invernadero natural, que sirve para calentar la superficie de la tierra y hacerla habitable. Si no existiera atmósfera la temperatura de la tierra no llegaría a alcanzar los -20ºC.

La *orbita terrestre*, con oscilaciones periódicas, hace variar la cantidad media de radiaciones que recibe cada hemisferio, ocasionando largos periodos de verano o invierno (periodos de glaciación e interglaciación). La excentricidad orbital, la precesión de los equinoccios (cambio lento y gradual en la orientación del eje de rotación

de la Tierra), y la oblicuidad de la tierra o inclinación del eje terrestre son los responsables de las variaciones orbitales. Este cambio de dirección es debido a la torsión ejercida por las fuerzas de las mareas de la luna y el sol sobre la protuberancia ecuatorial de la Tierra. Estas fuerzas tienden a llevar el exceso de masa presente en el Ecuador hasta el plano de la eclíptica.[2]

Históricamente se atribuye a Hiparco de Nicea el descubrimiento de la *precesión de los equinoccios* con una aproximación extraordinaria para la época. Las fechas exactas no son conocidas, pero las observaciones astronómicas atribuidas a Hiparco por Claudio Ptolomeo datan del 147 a.C. al 127 a.C. Algunos historiadores sostienen que este fenómeno ya era conocido, al menos en parte, por los antiguos sabios de la India. También existen indicios de que Cidenas, astrónomo babilonio hubo advertido de este desplazamiento ya en el año 340 a.C.

La *deriva continental* o desplazamiento lento y continuo de los continentes, fue demostrada por Alfred Lothar Wegener en 1912. Según el autor, a partir de Pangea (tierra única) y Panthalasa (océano Universal) se originaron a lo largo de millones de años los continentes y océanos actuales. Esta teoría se sustenta en la actualidad por la teoría de la Tectónica de las Placas, acuñada en 1960 por Robert Dietz, Maurice Edwing, y Harry Hess, entre otros.

Wegener justifico su teoría de la deriva continental mediante pruebas geográficas (similitud de contornos), por pruebas geológicas (similitud de edad de cordilleras y composición geológica de rocas) y por pruebas paleontológicas (fósiles similares en los bordes de los nuevos continentes). La aparición de minas de carbón en Svalbard o Spitsbergen en el Ártico, donde no existen bosques, sugieren que hace millones de años esa zona debía ser de mas baja latitud, clima mas templado y susceptible de tener vegetación arbórea y bosques.

La aparición de la Dorsal Centroamericana, puente entre América del Norte y del Sur (50.000 años), obligó a que las corrientes de aguas calientes del Caribe y Golfo de México hacia el pacifico, tuvieran que desviarse hacia las Antillas y la costa Este de Estados Unidos, ocasionando la Corriente del Golfo, que anteriormente no existía. Esta nueva corriente ha dado lugar a que el Glaciar escandinavo, que cubría el norte de Europa en el pleistoceno, se fundiera por la gran cantidad de calor que produce esta corriente.

La *latitud*, es responsable de la inclinación de la llegada de los rayos solares y, por tanto, de las diferencias de duración de la noche y el día y de la variación de la insolación diaria (por el movimiento de rotación) y estacional (por el movimiento de traslación). Los cuatro paralelos principales, trópicos y círculos polares, generan grandes zonas anticiclónicas y depresiones atmosféricas.

La *composición atmosférica* es factor determinante en el clima, y desde la era industrial más. Los gases volcánicos, ricos en dióxido de carbono, los gases efecto invernadero que calientan la atmósfera y el aumento de los óxidos de azufre que actúan como refrigerantes, condiciona el balance radiativo de la atmósfera.

La sustitución de los componentes ligeros de la atmósfera primitiva (Hidrógeno biatómico y Helio), por gases volcánicos y especialmente dióxido de carbono, dio lugar a una segunda generación atmosférica en la que ganan importancia los gases efecto invernadero, generadores de calentamiento atmosférico, y al mismo tiempo aumentan los óxidos de azufre (SO, SO2 y SO3) y los aerosoles, que actúan como refrigerantes. La interacción de ambos condiciona el balance radiativo de la atmósfera.

A la composición actual de la atmósfera contribuyen la fotosíntesis, quimiosíntesis (captadores de carbónico y liberadores de oxigeno), la fotolisis del agua, liberadora de oxigeno y la fotosíntesis oxigénica de las cianobacterias y sus precursores y también los plastos, liberadores de oxigeno. Todos ellos dan lugar a la tercera generación atmosférica, en la que predomina un alto consumo de oxigeno y una alta producción de carbónico.

Las corrientes oceánicas actúan como factor regulador del clima, moderando la temperatura de la atmósfera, mediante el traslado de ingentes cantidades de agua y energía en forma de calor. La corriente del Golfo templa las costas europeas. La ciudad de Washington, situada en la misma latitud que Sevilla, tiene un clima mucho más frío, y ello es debido a que no esta afectada por la corriente del Golfo, pero sí está sometida a la corriente Labrador, mas fría. .

Los efectos antropogénicos son responsables de la mayor parte del cambio climático, por la rotura de muchos equilibrios biológicos y energéticos. A pesar del escaso efecto invernadero de los compuestos habituales de la atmósfera (Nitrogeno: 78%) y (oxigeno:21%) las actividades humanas (industria, generación de energía con combustibles fósiles, transporte, agricultura, deforestación etc.), aumentan los Gases de Efecto Invernadero (GEI), produciendo el calentamiento de la tierra, y la producción de sulfatos que, actuando como contrapeso, contribuyen a refrigerarla.

La intensidad de las variaciones climáticas se debe, también, a la existencia de sistemas o mecanismos de retroalimentación (Feed-back) que, de ser positivos, amplifican y, de ser negativos, neutralizan los efectos de pequeños forzamientos radiativos. Entre ellos cabe citar, como ejemplo, el albedo y las nubes.

El *efecto Albedo* (capa de hielo permanente de la superficie terrestre) tiene carácter de retroalimentación positiva**,** aumenta la superficie de reflexión a la atmósfera de los rayos solares y contribuye a su enfriamiento. Por el contrario, la disminución de la masa de hielo, permitiría la circulación oceánica, aumentaría la temperatura, se fundirían más los casquetes polares, disminuiría el albedo y aumentaría la temperatura terrestre.

Cabe citar, por fin el *efecto de sumidero de carbónico*. Los océanos, que absorben el 33% del dióxido de carbono atmosférico (Siegenthaler y Sarmiento, 1993), tienen la función de “estanque” para este gas. La disolución del carbónico, que produce la acidificación del océano y tanto mas cuanto mayor es la temperatura del aire, permite mantener un equilibrio mar/aire, ya que el carbónico pasa al agua como ión bicarbonato (Doré 2009); La reacción de carbónico y agua produce acido carbónico

que se disocia, en una reacción reversible en $CO_3H^{(-)}$ y $H^{(+)}$ y posteriormente en $CO_3^{(-)}$ y $2H^{(+)}$. La liberación de estos dos protones cambia el pH del agua y es por eso que el aumento de CO_2 atmosférico acidifica el agua del mar. Este mecanismo sirve para atemperar algunos cambios atmosféricos ya que el ión carbonato también precipita en piedras y formaciones calizas, asociado al ión Ca+, pasando a la tierra y mas tarde a la atmósfera en las erupciones volcánicas y por procesos tectónicos.

Teniendo en cuenta que el clima global no existe, siempre se considera el clima desde el punto de vista zonal o regional o desde el punto de vista local. Incluso se ha llegado a describir el clima como el *"espacio del globo terráqueo comprendido entre dos paralelos entre los cuales la duración mayor del día mayor del año se diferencia en media hora, lo que se corresponde con 7, 5º de latitud norte.*

Desde Tolomeo, se reconocen siete franjas o zonas climáticas, de latitudes comprendidas entre la mas fría, la boreal y la mas calida o de menor latitud, la ecuatorial, además de los llamados pisos térmicos, representados por el relieve de la superficie terrestre, y los forzamientos externos, derivados de las variaciones orbitales de la tierra o las variaciones solares (tormentas magnéticas, manchas solares o periodos hiperactivos).

En el año 1923 Koppen, en su obra "El clima de la tierra" clasificó los climas en función de la temperatura, las precipitaciones y la latitud en: cálidos, templados, fríos, polares, secos e indiferenciados o de alta montaña, estableciendo posteriormente subgrupos en función de las precipitaciones y considerando también los pisos térmicos, derivados de la altitud.

Hoy día, con carácter general, y al margen de los microclimas (urbano, de incendios y de erupciones – nubes de polvo y agua, lluvias torrenciales y tormentas eléctricas), se distinguen cuatro climas calidos (ecuatorial, tropical árido, subtropical y desértico o semidesértico o estepario), y los climas templados, en regiones de latitudes medias, entre los paralelos 30 y 70, con contrastes estaciónales de temperatura (media de 15ºC), humedad y dinámica de vientos predominantes del oeste, el subtropical húmedo, el mediterráneo, el oceánico o atlántico, el continental y los muy fríos.

Desde antiguo y hasta la creación de la Organización Meteorológica Mundial, (WMO), del Programa de las Naciones Unidas para el Medio ambiente (PNUMA), y a nivel científico del IPCC (Panel Internacional del Cambio Climático), se han dado muchos pasos en el estudio de los astros y el clima. Desde Fernando de Medicis, creador de los observatorios, pasando por Copérnico, con su teoría Heliocéntrica y de Tolomeo, defensor de la teoría geocéntrica, Galileo Galilei (con su famosa sentencia: "*….y sin embargo se mueve"*), Johanes Kepler y el nacimiento del Real Observatorio Astronómico de Greenwich, se progresó rápidamente hasta llegar al nacimiento del Boletín Meteorológico Internacional, a partir de los estudios de Urbain Le Veurrier

En España todos los aspectos relacionados con la meteorología, el estudio del clima, su evolución y su influencia en la naturaleza se estudian por el Instituto Nacio-

nal de Meteorología, creado en el año 1860 y que en el año 2008, sin necesidad ni fundamento alguno, pasó a denominarse Agencia Estatal de Meteorología.

EL CAMBIO CLIMÁTICO

La vida de las distintas especies animales y vegetales sobre la tierra esta condicionada por el permanente equilibrio entre factores muy diversos, entre los que juega un papel determinante el sistema climático. La influencia del clima, condicionante de las características básicas de los distintos ecosistemas que conforman nuestro planeta, sobre la especie humana, tanto desde el punto de vista cuantitativo, expresado en la evolución demográfica de la población, como cualitativo, manifestado en su contribución al mantenimiento y mejora de los niveles de salud, e incluso de la distribución geográfica de la población, es conocido de antiguo.

La influencia del clima en las condiciones medioambientales, en el desarrollo socioeconómico de las poblaciones y su correspondiente crecimiento demográfico, en las migraciones forzosas por fenómenos climáticos extremos y los resultados en mortalidad y mortalidad son fenómenos conocidos a los que las administraciones deben enfrentarse.

Aunque hace solo unos pocos años que se han activado las alarmas respecto de la importancia que están adquiriendo el cambio climático y sus determinantes y todas las organizaciones nacionales e internacionales se hayan puesto manos a la obra para reducir las emisiones causantes de la degradación de la calidad del aire atmosférico y del cambio climático, este es un asunto antiguo.

El clima mundial ha permanecido significativamente estable durante los últimos 10.000 años, proporcionando un escenario adecuado para el desarrollo de la especie humana y, sin embargo, hoy existen claros signos de que el clima esta cambiando, y el cambio climático es uno de los retos mas importantes a los que debe enfrentarse una humanidad globalizada. El grupo intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) llega a la conclusión de que el calentamiento global, producido desde mediados del siglo XX ha sido muy probablemente debido a la influencia humana.

Las mejores previsiones auguran que con el aumento en las concentraciones de CO_2 atmosférico (de 280 ppm –en la era preindustrial– hasta 387 ppm. en 2008), y de otros gases de efecto invernadero, la temperatura media mundial podría elevarse entre 1, 8 y 4 grados centígrados (entre 1, 1 y 6, 4 debido al margen de incertidumbre) a lo largo de este siglo incremento que irá asociado a efectos potenciales en todos los ecosistemas y, lo que es más importante, tendrá su repercusión en la salud de la humanidad.

El problema del cambio climático ha calado en la cultura occidental y es frecuente la producción de documentales o películas, de mayor o menor contenido científico o de ciencia ficción. Son conocidas producciones como "Una verdad incomoda", de Al Gore; "La última hora" de Leonardo di Caprio sobre la crisis

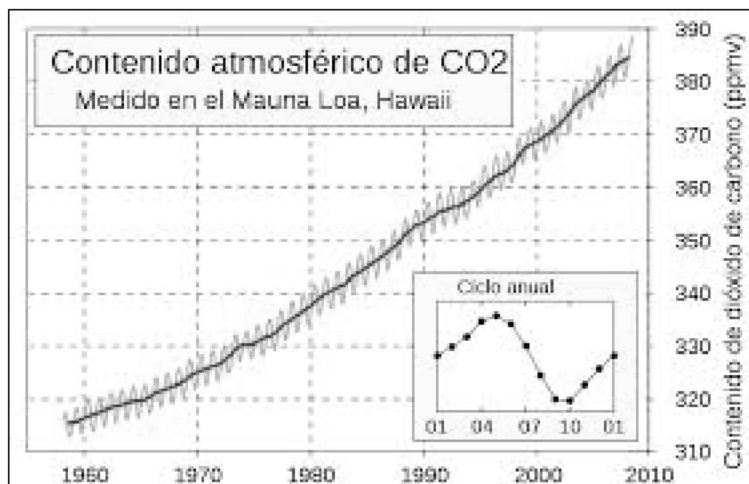
medioambiental; “El día después de mañana”, de Rolan Emmerich, producida en el año 2004 utilizando como argumento el cambio climático o, incluso, el documental de Martin Dunkin, “La gran estafa del calentamiento global”, del canal 4 de TV del Reino Unido, que cuestiona la influencia humana y de las emisiones del CO_2 en el calentamiento global, y considera que se utiliza para cobrar mas impuestos. También es conocida la novela de Michael Crichton titulada “Estado de miedo”, sobre estos mismos asuntos.

La climatología, no fue hasta la segunda mitad del siglo XX mas que una actividad científica dedicada a la recogida de datos sobre temperaturas, vientos y precipitaciones, utilizables para distintas actividades, constituyendo una rama de la meteorología con funciones científicas poco definidas. Sin embargo, ya en 1930 se descubre una posible tendencia al calentamiento global, detectado ya a finales del XIX, no relacionado con el desarrollo industrial, muy pujante en la época, y Milutin Milankovitch publicó datos sobre variaciones de la orbita terrestre que podían ser una explicación plausible a los cambios climáticos.

Los primeros indicios de la intervención humana en el cambio climático se remontan a 1938**,** cuando Guy Stewar Callendar afirmó en una conferencia en la Royal Meteorological Society de Londres, que estábamos asistiendo a un calentamiento global cuya principal causa era la quema de combustibles fósiles y el aumento de dióxido de carbono. Tales hallazgos se fundaron en hallazgos de Joseph Fourier, pionero en el estudio de los flujos del calor y de John Tyndall que confirmó en 1859 que algunos gases, como el metano y mas tarde el dióxido de carbono, eran opacos a las radiaciones infrarrojas, “atrapando” las radiaciones, emitidas por la tierra,

El “Efecto invernadero” descrito por Svate Arrehenius en 1896, explicaba el posible efecto del dióxido de carbono generado por la actividad humana y una de sus previsiones era que si se doblaba la cantidad de este gas en la atmósfera, la temperatura de la tierra subiría entre 5 y 6 grados centígrados. Dadas las incertidumbres existentes y los defectos del incipiente modelo climático, los científicos concedieron a esta teoría escasa relevancia hasta 1910.

La meteorología no fue especialmente afectada por el parón de los progresos técnicos ocasionado por la segunda Guerra Mundial, ya que las predicciones climatológicas servían de apoyo para la planificación de la actividad bélica y EEUU, aprovechando los avances tecnológicos y los sistemas de cálculos avanzados, impulsó el estudio del calentamiento global, basado en las hipótesis de Callender.



A finales de 1950 Roger Revelle, del Instituto Oceanográfico de Scripps, advirtió de los posibles efectos de un crecimiento incontrolado del dióxido de carbono y otros gases reconocidos hoy como de efecto invernadero. La actividad industrial, la guerra fría, los ensayos nucleares en el Atolón de Bikini y las hipótesis de Revelle de las limitaciones de los océanos para absorber contaminantes químicos, condujeron a Charles Keeling a liderar, a partir de 1958, uno de los mas importantes avances para evaluar el calentamiento y su relación con el dióxido de carbono, con las mediciones realizadas mes a mes, durante dos años (IX-1957 a XI-1959) de la variación de las concentraciones de dióxido de carbono atmosférico en el Polo Sur y en otros lugares. El Efecto Keeling daba su nombre al proceso por el que durante el día las hojas toman el dióxido de carbono de la atmósfera (fotosíntesis), las plantas, animales y microbios del suelo consumen el carbono en forma de materia orgánica y retornan CO_2 a la atmósfera durante la respiración. Durante el invierno en el hemisferio norte, la fotosíntesis cesa cuando muchas plantas pierden sus hojas, pero continúa la respiración. El aumento en las concentraciones atmosféricas de CO_2 durante el invierno se reduce en primavera al reanudarse la fotosíntesis en un ciclo permanente, reflejado en el gráfico anterior.

En los años 60 del siglo XX se elaboran los primeros modelos matemáticos del clima aprovechando que los ordenadores facilitan los cálculos y el lanzamiento de los primeros satélites meteorológicos (en 1960 se lanza el primer TIROS I). Todo ello facilita el transito de la meteorología cuantitativa a la cualitativa.

El primer informe del Club de Roma, presentado por Denns Meadows en 1972, con el titulo “Los limites al crecimiento” alerta sobre el creciente uso de combustibles fósiles y sus efectos medioambientales, utilizando un modelo computacional predictivo. En 1975 surge la primera llamada de atención sobre la contribución de los gases clorofluorcarbonados (CFC) al efecto invernadero.

En el año 1979 se celebra la Primera Conferencia Internacional sobre el Clima y la mayor parte de los países desarrollados incorporan a sus agendas la perspectiva de afrontar un cambio climático derivado de la emisión de gases efecto invernadero, responsables del calentamiento global. La Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos valida la teoría de Svate Arrhenius de que de duplicarse la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, causada por la actividad humana, se producirá un aumento de la temperatura media del planeta entre 1, 5 y 4, 5º C.

En 1988 se crea el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), y en 1989 el Instituto Goddard de Investigaciones espaciales de la NASA ratifica el calentamiento global y califica a 1988 como el año mas caluroso de la década, con incendios que arrasaron mas de tres millones de hectáreas.

Desde 1990 tras el primer informe del IPCC surgen las primeras polémicas sobre la magnitud del fenómeno y sus posibles causas, auspiciadas por los lobbys de corporaciones afectada por posibles restricciones del uso de combustibles fósiles. En 1992, se celebra la Cumbre de la Tierra ECO 92, en Río de Janeiro (Brasil), sobre desarrollo y medio ambiente y Estados Unidos bloquea el posible acuerdo sobre una posible Convención del cambio climático.

En 1995 se produce un gran desprendimiento de hielo en la Antártica, (85 x 64 km) en la barrera de hielos Larsen; La década de los años 1990 fue la mas calurosa y seca en África, el año 1998 aparece como el mas caluroso de la historia y se muestra el cambio de los hábitos migratorios de aves e insectos voladores y el régimen de lluvias se han alterado con los cambios térmicos. El año 2000 se recordará por las olas de calor registradas en la India, con más de mil muertos, Grecia, Rumania, Turquía y Bulgaria y en 2003 se produce una mortalidad excesiva de 20.000 personas, casi todas mayores de 70 años, por la ola de calor en Europa (180 personas en un día en Francia). Todos son acontecimientos relacionados con el cambio climático, y a los que dedicaremos especial atención al ocuparnos de los efectos sobre la salud del cambio climático.

En diciembre de 1997 se aprueba por 125 países el Protocolo de Kyoto vinculante para la reducción en el periodo 2008 a 2012 del 5, 2% de las emisiones de gases efecto invernadero respecto de la situación en 1990. En marzo del año 2001 los Estados Unidos, los mayores productores de dióxido de carbono, desertan del Protocolo de Kyoto alegando razones de estado y una injusta e inequitativa repartición de las cargas del protocolo. Paradójicamente, tras las olas de calor de 2000 y 2003, los Estados Unidos advierten del peligro del cambio climático para la seguridad Nacional.

Tras las olas de calor de 2000, que causó mas de 1000 muertos, y la de 2003 responsable de una mortalidad añadida de mas de 20.000 personas en Europa y el record de registro de temperaturas altas en el año 2005, científicos de la Universidad de Queen (Ontario, Canadá) registraron altas temperaturas en el Artico. El Polo ha perdido un 23% de su superficie de hielo entre los años 2005 y 2007 y más de un

39% respecto de la media de los años 1979 – 2000. De continuar así, podría perder todo su hielo en el año 2020.

La celebración el día 22 de abril de 1970 del "Primer día de la Tierra", supuso un salto cualitativo muy importante en la consagración del cuidado de la naturaleza como uno de los principales valores de las sociedades occidentales, que cogió a contrapié a los movimientos ecologistas, muy enfrascados en la lucha contra las centrales nucleares (la producción energética mas limpia disponible) y muchos de ellos carentes de suficiente formación científica para liderar la opinión publica respecto del cambio climático y para saber cual seria el efecto de ese fenómeno en la vida de las distintas especies y sus habitats naturales.

El cambio climático se ha convertido en una "realidad social" (John R: Searle), con una aceptación generalizada de que la biosfera corre peligro por el aumento de la temperatura global y ello nos llevará a una revolución cultural de consecuencias insospechadas, como ya se esta apreciando en el cambio en los hábitos de consumo, y las grandes inversiones en fuentes de energías, limpias del estigma de los Gases Efecto Invernadero (GEI). Estos nuevos planteamientos generaran nuevas oportunidades en el mercado de bienes y servicios, marcados por la innovación científica y tecnológica, sobre la base de una amplia flexibilidad de adaptación social, económica y política, y la movilización de recursos financieros.

En la actualidad, el mayor acerbo de literatura científica sobre el clima y el cambio climático, es la recogida en los distintos informes del IPCC (Panel Internacional contra el cambio Climático) que, en el año 2007, recibió el premio Nóbel de la Paz. Desde el Tercer informe de evaluación, el conocimiento temporoespacial de los cambios climáticos ha mejorado por la ampliación y mejora de los conjuntos de datos, por los avances en los métodos de análisis, por la creciente cobertura geográfica de las observaciones, por un mayor avance en el conocimiento de las incertidumbres y por una mayor diversidad de las mediciones.

Entre los diversos conceptos de cambio climático son dos los aceptados con carácter general, el del Panel Intergubernamental contra el Cambio Climático (IPCC) y el que consta en el "Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre cambio Climático". La diferencia entre ambos se basa en que el primero se centra en el cambio identificable del clima, con independencia de que se trate del debido a la variabilidad natural o al resultante de la actividad humana, y el segundo, se refiere al cambio inducido por la actividad humana, ya sea directa o indirectamente y que se suma a la variabilidad natural climática.

El IPCC lo enuncia como un *"cambio identificable en el estado del clima, a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un periodo de tiempo prolongado, cifrado en decenios o periodos mas largos, debido a la variabilidad natural o a la actividad humana*".

Por su parte, el Convenio marco de las Naciones Unidad, lo define como un *"cambio identificable del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad*

humana, que altera la composición de la atmósfera mundial, y que se suma a la variabilidad climática natural, observada en periodos de tiempo comparables".

En los últimos años se han producido cambios inequívocos en el clima, que se han manifestado a través de innumerables observaciones en un aumento de la temperatura mundial, en el calentamiento del mar, en el aumento del nivel de los océanos, en la disminución de las capas de nieve y hielo y otros cambios que incluyen las variaciones de las precipitaciones y fenómenos meteorológicos extremos.

El incremento de las temperaturas se esta produciendo de forma generalizada, aunque con mayor intensidad en las zonas septentrionales y sobre todo en la región Ártica. Más importante que el valor del aumento de la temperatura, lo es su ritmo de crecimiento en los últimos años. Entre los años 1995 y 2006, la temperatura creció mas que desde 1850 y, además, el calentamiento lineal entre 1956 y 2005, fue de 0, 13ºC/10 años, el doble de lo experimentado entre 1906 y 2005, que fue de 0, 06ºC/10 años. Ese calentamiento es superior en las regiones septentrionales siendo en el artículo el doble del promedio general y, a su vez, la tierra se calienta más que el mar.

El calentamiento del mar, desde 1960, por la incorporación de hasta un 80% de la energía calorífica incorporada al sistema climático, llega a alcanzar una profundidad de tres mil metros. Son llamativos los promedios mundiales de aumento del nivel del mar, coherentes con la dilatación térmica (57%), de la fusión de los glaciares y casquetes polares (28%) y de la perdida de manto de hielo polar, dentro del margen de incertidumbre. En el periodo 1961 – 2003 el nivel del mar aumentó 1, 8 mm anuales mientras que en el periodo 1993-2003 este incremento alcanzó los 3, 1 mm al año.

La disminución de la extensión de la capa de nieve y hielo, concordante con el calentamiento global evoluciona de forma preocupante desde 1900. El suelo estacionalmente congelado se reduce un 7% en el hemisferio norte y hasta un 15% en primavera, pero desde el año 1978 asistimos a una disminución de 2, 7% cada diez años de los hielos marinos árticos y, en los veranos, esta disminución alcanza el 7,4% cada década. El permafrost, concepto acuñado por S.W. Muller en 1943, para expresar la capa permanentemente congelada en el Ártico, que tiene sus expresiones en castellano (Bryen 1946), también ve aumentar su temperatura un 3% desde 1980. Tanto el promedio mundial de la temperatura en superficie, el promedio del nivel del mar y la cubierta de nieve en el hemisferio norte tienen unos valores en comparación copn los del periodo 1961-1990, pero todos ellos sujetos a unos márgenes o intervalos de incertidumbre.

La evolución de las precipitaciones ha experimentado importantes cambios de tendencia desde el año 1900, registrándose un incremento de las precipitaciones en ciertas regiones (Región oriental de América del Norte y Sur, Norte de Europa, Asia Central y Septentrional) y una disminución de las mismas en el Sahel, sur de Asia, África y el Mediterráneo. En todo caso es evidente que las superficies afectadas por sequías o grave escasez de lluvias se ha incrementado desde el año 1970.

Son especialmente llamativos y conocidos por el protagonismo que adquieren en los medios de comunicación, los episodios de fenómenos meteorológicos extremos, cuya frecuencia e intensidad ha cambiado de forma significativa en los últimos 50 años. Utilizando los márgenes de incertidumbre a los que mas tarde me referiré, es muy probable, según las estimaciones del IPCC, que se reduzca la frecuencia de los días y noches fríos y de escarcha y aumenten los de calor y es probable que las olas de calor sean mas frecuentes en la tierra. También es probable que aumente la proporción de precipitaciones intensas y que puedan ponerse de manifiesto los efectos de aumento del nivel del mar en las zonas de mayor riesgo, las más bajas yt que en muchas ocasiones se corresponden con las más pobres. No hay que utilizar incertidumbre ni probabilidades para afirmar que la actividad ciclónica del Atlántico norte ha aumentado de forma significativa desde el año 1970.

Si la variabilidad climática regional y la escasez de datos en muchas zonas debidas al bajo nivel de desarrollo de los países ha sido un obstáculo para conocer la evolución del clima, la realidad es que desde el año 1970 ha mejorado sensiblemente la calidad de los datos, la mayor parte de los países se incorporan a las observaciones con métodos homologados, aumentan el numero de estudios y se puede evaluar mejor el calentamiento global y sus efectos.

De acuerdo con los conocimientos actuales, el 4º informe del IPCC afirma que existe un alto grado de confianza en que los cambios regionales de la temperatura han producido efectos discernibles en los distintos sistemas físicos y ecosistemas, entre los que cabe citar los siguientes:

Los *sistemas naturales* vinculados al hielo, a la nieve y al terreno congelado se han afectado, de forma que los glaciares se deshielan y aumenta el numero y extensión de los lagos glaciares, y como consecuencia del deshielo del permafrost, aumenta la inestabilidad del terreno y puede producir movimientos de tierras, como sucede en las montañas en las que aumentan los desprendimientos de rocas y el riesgo para las personas. Los cambios en la biomasa de los ecosistemas de hielo marino en región ártica y antártica influyen sobre el movimiento de ascenso de predadores en la trama alimentaria.

También existe un grado de confianza alto en que por efecto del cambio climático y del calentamiento de la atmósfera, los *sistemas hidrológicos* sufren importantes cambios, entre los que cabe señalar, el incremento de las escorrentías hacia los ríos y lagos, aportando tierras descarnadas por las corrientes. Los deshielos más precoces hacen que se anticipen las fechas de crecimiento del caudal de primavera de los ríos alimentados por deshielo de nieve y glaciares etc.

Sin duda, por su impacto sobre la salud de las personas, el efecto mas importante es la *alteración de la estructura térmica y de la calidad del agua de los ríos* y lagos de numerosas regiones, cuyo efecto mas inmediato se produce, sobre todo, en países menos desarrollados, donde las instalaciones de potabilización del agua son

poco frecuentes y, como consecuencia directa, las enfermedades de transmisión hídrica se incrementan por la no potabilidad del agua.

El mayor numero de evidencias y la afectación de un mayor número de especies pone de manifiesto un grado de confianza muy alto en que los *sistemas biológicos terrestres* están siendo gravemente afectados. Las observaciones de satélites ponen de manifiesto en que los procesos primaverales, como el brotar o retoñar de los árboles y plantas se adelantan en primavera, en determinadas regiones, debido a una prolongación de los periodos térmicos de crecimiento. Lo mismo ocurre con la migración de las aves y los procesos de puesta de huevos, sin perjuicio de que algunas aves ya no emigran a zonas calientes en invierno. También es cada vez mas frecuente la migración hacia los polos y hacia niveles altos del ámbito geográfico, de numerosas especies animales.

Los cambios en los *sistemas biológicos marinos y de agua dulce* están condicionados por el incremento de la temperatura del agua y los cambios concomitantes de la cubierta de hielo, de la salinidad, de los niveles de oxigeno y de la circulación de las propias aguas. Aunque existen evidencias de la afectación de los arrecifes de coral, no es muy exacta la delimitación de la responsabilidad del cambio climático y del calentamiento del agua y la de la sobreexplotación pesquera o la contaminación marina.

Las algas y el zooplancton son elementos esenciales en la cadena trófica y, por eso, su destrucción por el aumento de la temperatura o por la contaminación supone un grave deterioro del medio natural**.** Por efecto del calentamiento del agua, el zooplancton y muchas algas se desplazan a zonas con aguas menos calientes y por eso aumentan en los lagos y ríos de latitudes altas y por idénticas razones, muchas especies de peces adelantan sus procesos migratorios a lo largo de los ríos..

Aunque pueden estar produciéndose algún otro tipo de afectación de los entornos natural y humano, es difícil discernir, como sucede en el caso de los arrecifes de coral, su causa, por los procesos de adaptación y por la existencia de originantes no climáticos.

El aumento de la temperatura ha originado, también *cambios en los sistemas agrícolas y forestales* y otras actividades humanas del hemisferio norte, dando lugar a la plantación temprana de cultivos de primavera y al incremento de los daños causados por plagas e incendios. A la reducción de las superficies de hielo y nieve en la zona ártica que obliga a modificar actividades humanas de importante repercusión económica, como son la caza, cuyos periodos hábiles se acortan, o los viajes de turismo de nieve o de invierno. Idéntica suerte corren en áreas alpinas de menor altitud los deportes de montaña, que pueden verse severamente afectados, y otros tantos efectos negativos tienen la perdida de humedales costeros y manglares.

En la actualidad los científicos disponen de suficiente información, procedente de mas de 29.000 series de observaciones efectuadas en todas las partes del mundo en un conjunto homologado de 75 estudios y de ellos se deduce que mas del 89% de los cambios observados en ecosistemas son coherentes con los cambios inducidos por el

calentamiento global, y mas concretamente los que venimos e numerando, contrastados científicamente.

A pesar de toda esta disponibilidad de datos y de los adelantos tecnológicos y utilización de sistemas computerizados de análisis y evaluación de modelos climáticos, la utilización de los datos, de los indicadores obtenidos y su análisis, puede enfocarse desde un punto de vista cualitativo o cuantitativo o de la visión de expertos, con el fin de obtener una visión clara de las incertidumbres. La evaluación cualitativa basada en el volumen y calidad de las evidencias y del nivel de concordancia (grado de coincidencia de los conocimientos científicos y una conclusión determinada), llevó al Grupo de trabajo de IPCC a distinguir entre coincidencia alta, evidencia abundante, evidencia media o coincidencia media.

La evaluación cuantitativa, por su parte, –niveles de confianza de que una conclusión es correcta– ha permitido al IPCC clasificar las conclusiones en cinco niveles: Nivel de confianza muy alto (9/10), nivel de confianza alto (8/10), nivel de confianza medio (5/10), nivel de confianza bajo (2/10) y nivel de confianza muy bajo (1/10).

Por su parte, las evaluaciones basadas en criterios de expertos y en análisis estadísticos, permiten clasificar las conclusiones en cuatro grupos: Virtualmente cierto (>99%), Extremadamente probable (>95%), muy probable (>90%) y probable (>66%). Estas terminologías son las utilizadas en el momento actual en toda la documentación científica sobre estas materias.

Causas del cambio climático

La evolución del clima a lo largo de periodos mas o menos largo de años depende de los efectos de la suma de los originantes naturales y de los derivados de la actividad humana, o antropogénicos, y especialmente los denominados gases de efecto invernadero (en adelante GEI).

El análisis de las causas del cambio climático debe considerar, en primer lugar, los *originantes del cambio climático*, con especial referencia a los GEI (Gases Efecto Invernadero), responsables de una cadena de acontecimientos que van desde la emisión de los mismos, el aumento de su concentración en la atmósfera con el consiguiente forzamiento radiativo, *y sus consecuencias* en forma de respuesta climática manifestada en cambios así inducidos, tanto en los distintos ecosistemas naturales y gestionados, como en la propia salud del hombre. La *sensibilidad climática* y los *retroefectos del clima* pueden potenciar o reducir el efecto de determinados agentes de forzamiento radiativo. A partir de estos datos y, de acuerdo con el modelo de tratamiento de las incertidumbres, se puede efectuar una *atribución de las causas del cambio climático.*

Al margen del efecto invernadero natural, al que nos hemos referido, es evidente que son las actividades humanas las principales responsables de aumento de la concentración de atmosférica de los gases efecto invernadero (GEI) entre los que destacan dióxido de carbono, vapor de agua, metano, óxidos de nitrógeno, y produc-

tos halocarbonados, que aportan flúor, cloro y bromo, además de muchos aerosoles. Los cambios en la corteza terrestre, fundamentalmente relacionados con las actividades agrícolas, ganaderas y de la explotación de las selvas y los cambios en las radiaciones solares amplifican los impactos en el sistema climático. Todos ellos, además de ser los principales factores originantes del cambio climático, condicionan la absorción, la dispersión y las emisiones de radiaciones de la atmósfera y la corteza terrestre, y como consecuencia de todo ello se produce una alteración de los balances energéticos de todo el sistema climático.Esta demostrado que el desarrollo socioeconómico, en su más amplio sentido, la evolución demográfica, las pautas de producción y consumo, los adelantos tecnológicos y otros factores, son los principales responsables de las emisiones de GEI y aerosoles a la atmósfera y sus concentraciones en la misma y consecuentemente originantes del cambio climático. Este se manifiesta en forma de aumento de la temperatura global, de cambios en las precipitaciones, de elevación del nivel del mar y de la mayor incidencia de acontecimientos climáticos extremos y todo ello condiciona los correspondientes impactos en recursos hídricos, ecosistemas, asentamientos urbanos, seguridad alimentaria y en la salud humana. A partir de ahí se establece ya un circulo vicioso, puesto que todos estos impactos, a su vez, van a incidir sobre el desarrollo socioeconómico. Lo más relevante es que ante tal situación, solo caben dos tipos de acciones, las de las de mitigación cuyo fin es reducir las emisiones que reducirían el cambio climático y sus correspondientes impactos, o las de adaptación a los cambios, cuando no puedan evitarse los impactos, minimizando así la vulnerabilidad.

La medición de la influencia de la emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI) en el calentamiento de la atmósfera se realiza por medio del denominado forzamiento radiativo (no radiactivo), como indicador de la influencia de un determinado factor en el balance energético de la entrada/salida de energía en el sistema tierra-atmósfera. El calentamiento de la tierra, de los mares y la atmósfera no tiene otro origen mas que la diferencia entre la energía que entra en la atmósfera y en el sistema tierra – océano, y la que sale de ellos. En general se utiliza como patrón el forzamiento radiativo por anhídrido carbónico, expresado en watios por metro cuadrado.

Al utilizar como referencia el forzamiento radiativo por carbónico, es necesario conocer que la **emisión de carbónico equivalente** es la cantidad de emisión de CO2 que ocasionaría el mismo forzamiento radiativo integrado a lo largo del tiempo que una cantidad emitida de GEI de larga permanencia o mezcla de ellos. Esa medición debe hacerse en un horizonte temporal dado que, de acuerdo con el Convenio Marco de la ONU para el cambio climático, se establece en 100 años.

De igual forma hay que tener presente que la **concentración de carbónico equivalente**, es la concentración de CO2 que ocasionaría el mismo forzamiento radiativo que una mezcla dada de este gas y otros agentes de forzamiento.

La *concentración atmosférica de GEI* (gases efecto invernadero) se han incrementado de forma notable desde la era industrial (1750), se ha acelerado de forma

preocupante a partir de 1970 y hasta el año 2004, alcanzando una tasa en este ultimo periodo del 70%.

El dióxido de carbono es el GEI mas importante, y el mayor contribuyente al calentamiento atmosférico. Su emisión se ha incrementado entre 1970 y 2004 en un 80%, pasando de 21 a 30 Gt (Gigatoneladas), representando el 77% de todas las emisiones de GEI. Lo más preocupante es que mientras en el periodo 1970-1994 las emisiones de CO2-equivalente se incrementaron a un ritmo de 0,43 gigatoneladas por año, en la década 1995-2004 ese incremento alcanzo las 0,92 gigatoneladas anuales.

Desde la era preindustrial, la concentración atmosférica de dióxido de carbono pasó de 280 a 379 p.p.m. y la de metano que, desde la era industrial hasta 1990, creció exageradamente, pasando de 715 a 1732 p.p.m., enlenteciéndose luego su crecimiento, hasta situarse en el año 2005 en 1.774 p.p.m. Entre dióxido de carbono y metano excedieron en el año 2005 los intervalos de valores de los últimos 650.000 años, y estos dos, junto con los óxidos de nitrógeno exceden en la actualidad, con mucho, los valores preindustriales. El efecto neto de las actividades humanas desde 1750 ha sido un incremento de la temperatura con un forzamiento radiativo neto de 1,6 W/metro cuadrado.

Las emisiones mundiales anuales de GEI antropógenos han pasado de 24 Gigatoneladas de carbónico equivalente al año en 1970 a 49 en el año 2004, lo que supone un incremento superior al 100%, siendo el CO_2 el que representa la mayor proporción.

Según la información publicada por el IPCC en su cuarto informe, el CO2, procedente de combustibles fósiles representa el 56,6% y el resultante de la deforestación, degradación de biomasa etc. un 17,3%, de forma que entre ambos acaparan casi el 74% del total, siguiéndoles en importancia el metano con un 14,3% y, por fin, los derivados del Nitrógeno con el 7,9% y en proporciones ínfimas (1,1%) los halocarbonados. Respecto de los sectores económicos responsables de la producción de GEI, la producción de energía representa un 25,9%, la industria el 19,4%, seguidos de las actividades selvícolas con el 17,4%, la agricultura con el 13,5% y el transporte, que produce el 13,1%. Otros sectores económicos tienen efectos menos relevantes (desechos y aguas de desecho (2,8%) y edificios residenciales y comerciales (7,9%).

El impacto en forzamiento radiativo del dióxido de carbono aumentó en el periodo 1995-2005 un 20% más que en cualquier decenio de los últimos 200 años, y el forzamiento radiativo conjunto de dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno se cifró en 2, 3 W/metro cuadrado, cifra muy probablemente sin precedentes.

Los aerosoles de la atmósfera, especialmente los derivados del azufre, el carbono orgánico, el carbono negro, los nitratos y el polvo, son otros componentes importantes, cuyo cambio de concentración es capaz de producir un efecto de enfriamiento, debido al forzamiento radiativo negativo (-0, 5 W/metro cuadrado). El forzamiento conjunto directo de estos aerosoles y del albedo de nubes se sitúa en un -0, 7 W/metro cuadrado y, además, en su conjunto contribuyen a incrementar las precipita-

ciones. Los cambios en la radiación solar, a los que nos referimos brevemente al comienzo de esta exposición, contrariamente a lo que pudiera pensarse, han causado solo un pequeño forzamiento radiativo desde el año 1750, cifrado en 0, 12W/metro cuadrado.

La emisión de Gases de efecto invernadero esta directamente relacionada con el *desarrollo económico y social*, excepto el metano, y por ello parece procedente hacer una breve referencia a la distribución regional de las emisiones de GEI, en función de la población mundial y del PIB de los distintos grupos de países considerados por el Convenio Marco de la ONU para el cambio climático.

En el año 2004 los países incluidos en el anexo I de Convenio Marco de la ONU para el Cambio Climático, representaban el 20% de la población Mundial y producían el 57% del PIB mundial, expresado en PPA (paridad del poder adquisitivo) y, al mismo tiempo, aportaban el 46% de las emisiones de GEI mundiales. El promedio de emisiones per capita es de 16,1 t CO_2 – eq. en los países del anexo I. y de 4,2 t CO_2 – eq. en los países NO anexo I, es decir casi cuatro veces menor.

Los Estados Unidos y Canadá representan el 19, 4% de las emisiones mundiales con más de 25 toneladas per capita, con una pequeña proporción de los habitantes mundiales. Japón, Australia y Nueva Zelanda, producían el 5,2%, próximo a 15 Tm per capita y, frente a estos países, en el otro extremo con su 13,1% de emisiones respecto del total mundial, Asia del Sur tiene ella sola casi un 30% de los habitantes mundiales y su producción de CO_2 equivalente per capita no alcanza las cinco toneladas.

Si se revisan los datos relativos a la distribución regional de las emisiones de GEI en función del PIB, expresado en Paridad del Poder Adquisitivo, en dólares USA del año 2000, los países del anexo I reúnen el 56,6% del PIB mundial, frente al 43,4% de los países no anexo I. La cantidad de emisiones expresada en Kgr. de CO_2 en los "países no anexo I" llega a alcanzar casi 2,5 por Dólar USA de PIB, mientras que en Europa no llega a 0,5 o en los Estados Unidos y Canadá se sitúa en torno a 0,7 kgr/ dólar de PIB.

Otro aspecto a considerar es lo que se conoce como *sensibilidad climática y retroefecto del clima*. Cuando se produce un forzamiento radiativo sostenido, que depende de la emisión de gases efecto invernadero, de las variaciones de la radiación de la corteza terrestre y del sol y de los aerosoles que se encuentran en la atmósfera, la sensibilidad climática es el mejor indicador para conocer la respuesta del clima a esos forzamientos. La sensibilidad climática se define como "el promedio mundial de calentamiento superficial, en condiciones de equilibrio, por el forzamiento radiativo que resulta de la duplicación de las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono". Lo más probable es que la sensibilidad climática se encuentre entre 2 y 4, 5º centígrados, siendo poco probable que sea inferior a 1, 5º y sin que se pueda descartar de forma categórica que llegue a los 4,5º.

Los denominados retroefectos del clima pueden contribuir a amplificar o a disminuir la respuesta a un forzamiento radiativo dado. Los cambios en la concentración de vapor de agua en la atmósfera (a pesar de ser un gas de efecto invernadero), es el retroefecto mas importante de cuantos afectan a la sensibilidad climática, teniendo retroefectos beneficiosos, ya que a medida que aumenta la temperatura de la tierra, también lo hace la cantidad de agua evaporada en la troposfera, no constituyendo un forzamiento radiativo. El retroefecto de las nubes siempre ha sido motivo o fuente de incertidumbre y el Albedo Mar-hielo, aumenta la respuesta en latitudes altas, entendiendo por albedo el porcentaje de radiación reflejada sobre la recibida en un sistema determinado.

El calentamiento reduce la incorporación terrestre y oceánica de CO_2 atmosférico y aumenta las emisiones que subsisten en ella. Este retroefecto positivo del ciclo del carbono aumenta el forzamiento y cambio climático, originándose un círculo vicioso que potencia el continuo recalentamiento.

Conocidas las causas mas importantes del cambio climático, la sensibilidad climática y los principales efectos del cambio climático en los sistemas físicos y en los ecosistemas naturales, es necesario, como hace el IPCC considerar la atribución de causas del cambio climático, es decir, comprobar si los cambios observados son coherentes en términos cuantitativos con los forzamientos radiativos externos o si, por el contrario, esos cambios son coherentes con otras explicaciones físicas.

El cuarto informe del IPCC expresa con rotunda claridad la alta probabilidad de que el aumento promedio de las temperaturas desde la mitad del siglo XX, se deba al incremento de la emisión y concentración de GEI de origen antropogénico y de que el aumento de temperatura del mar y de la atmósfera, y la disminución de la capa de hielo no se deban exclusivamente a causas de origen natural.

Respecto al calentamiento general de la atmósfera y el mar, así como a la reducción de la capa de hielo, es muy probable que no se deba a factores naturales y mas si se tiene en cuenta que solo la acción del forzamiento solar y volcánico, llevarían aparejada una disminución de la temperatura general y es por eso por lo que se sostiene la probabilidad de que sean forzamientos externos, antropogénicos, sin los cuales se habría producido ese enfriamiento. También es probable que el aumento de GEI hayan producido “per se” un calentamiento mayor del observado, puesto que los aerosoles volcánicos y antropógenos han compensado parte del calentamiento suplementario que debería haber acaecido.

La comparación entre los cambios de temperatura a escala continental y mundial observados y los resultados obtenidos mediante modelos climáticos que utilizan forzamientos naturales solamente, o forzamientos naturales y antropógenos entre los años 1900 y 2000 ponen de manifiesto que los promedios decenales entre 1905 y 2000 experimentan una tendencia creciente, especialmente marcada a partir de la década de los años 1950-1960, siendo muy superiores los intervalos obtenidos en

distintas simulaciones cuando se consideran forzamientos naturales y antropógenos, frente a aquellos en los que solo se consideran los forzamientos naturales.

En todos y cada uno de los continentes la variación de la temperatura es evidente, siendo más marcada en Europa y menos en Oceanía y en todos ellos se superpone más a los modelos climáticos realizados con forzamientos naturales y antropógenos, puesto que las temperaturas observadas incluyen ambos tipos de forzamientos. Lo mismo sucede si, en vez de a nivel continental, realizamos las comparaciones a nivel mundial, solo tierra u océano. Por todo ello, el informe del IPCC afirma que es probable que se haya producido un calentamiento antropógeno importante excluida la Antártida.

De los estudios realizados también parece deducirse que las influencias humanas discernibles están interviniendo, además, en otros componentes o caracteres del clima, como son las temperaturas extremas y los vientos. También es probable que el aumento de las emisiones y consecuente concentración de GEI, además de producir un aumento del temperatura media lo hayan hecho de las medias de temperatura de las noches mas calidas, de las mas frías y de los días mas fríos y además es mas probable que improbable que haya aumentado y agravado los riesgos de olas de calor**.**

De los datos conocidos y de las incertidumbres existentes, resulta probable que los cambios del viento hayan afectado las trayectorias de las tempestades o de los ciclones extratropicales y es más probable que improbable que la mayor frecuencia de episodios de precipitaciones intensas o de aumento de las extensiones afectadas por la sequía, aparezcan relacionadas con el calentamiento general. También es muy probable que el calentamiento antropógeno sea responsable del aumento del nivel del mar, del cambio de los ciclos hidrológicos y del cambio en las pautas de las precipitaciones y, en conclusión, a pesar de las limitaciones de los análisis efectuados y de la existencia de incertidumbres en la atribución de la causalidad a la temperatura a las respuestas naturales.

El estudio de las proyecciones de las emisiones de GEI son muy utilizadas para establecer conjeturas sobre el cambio climático futuro; sus supuestos básicos respecto de la evolución demográfica, socioeconómica y del desarrollo tecnológico son el punto de partida de numerosos estudios sobre la vulnerabilidad del cambio climático y las evaluaciones de impacto.

El informe especial IPCC 2000 sobre escenarios de emisiones, conocidos con el término IEEE los describe agrupados en cuatro familias, A1, A2, B1 y B2, que exploran vías de desarrollo alternativas incorporando toda una serie de fuerzas condicionantes de carácter demográfico, socioeconómico y tecnológico, junto con las emisiones de GEI resultantes, y sin tener en cuenta ninguna política climática mas allá de las ya existentes. De esas cuatro familias se derivan seis grupos de escenarios, tres de ellos dependientes de A1. (Cuadro 1). La familia A1 presupone un crecimiento económico mundial muy rápido, un máximo de población mundial hacia mediados del XXI y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. En función de

tres direcciones alternativas del cambio tecnológico, esta familia A1 proporciona tres escenarios diferentes: A1F1 con uso intensivo de combustibles fósiles, A1T, con uso de energías de combustibles no fósiles y A1B, alternativa de uso equilibrado de combustibles de diversas fuentes. La familia y el escenario B1_define un mundo convergente, con la misma población mundial que A1, pero con una evolución mas rápida de las estructuras económicas hacia una economía de servicios y de información; B2 plantea un planeta con una población intermedia, con crecimiento económico intermedio, mas orientado a soluciones locales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y medioambiental. A2 describe un mundo muy heterogéneo, con crecimiento de población fuerte, desarrollo económico lento y cambio tecnológico lento.

Cuadro 1

Familia	Crecimiento económico	Población mundial	Tecnologías nuevas y eficientes
A1	Muy rápido	Máximo en 2050	Rápido y eficientes
A1F			Intensiva, Combustibles fósiles
A1T			Energía no fósil
A1B			Equilibrio de fuentes de energia
B1	Economía de servicios e información	Máximo en 2050	
B2	Intermedio orientado a la mayor sostenibilidad	Intermedio	
A2	Lento	Fuerte	Cambio tecnológico lento

Fuente. IPCC. 2000.

Cuadro 2

Escenario	Concentración CO_2 eq. por GEI en 2100	Estimación de Cambios de la Temperatura		Aumento nivel del mar (m).
		Optima	Intervalo posible	
Concentración 2000	Constantes	0, 6	0, 3 - 0, 9	No disponible
Escenario B1	600	1, 8	1, 1 - 2, 9	0, 18 - 0, 38
Escenario A1T	700	2, 4	1, 4 - 3, 8	0, 20 - 0, 45
Escenario B2	800	2, 4	1, 4 - 3, 8	0, 20 - 0, 43
Escenario A1B	850	2, 8	1, 7 - 4, 4	0, 21 - 0, 48
Escenario A2	1.250	3, 4	2, 0 - 5, 4	0, 23 - 0, 51
Escenario A1F	1.550	4	2, 4 - 6, 4	0, 26 - 0, 59

Fuente: IPCC 2007

De acuerdo con esos criterios, se han realizado estimaciones más fiables de los cambios climáticos futuros en función de datos disponibles de observaciones directas y probablemente se están estableciendo intervalos de menor incertidumbre respecto del calentamiento observado para ciertos escenarios de emisiones. El Cuadro 2

(IPCC 2007) refleja las proyecciones del calentamiento en superficie y aumento del nivel del mar promedio para el final del siglo XXI, respecto de la situación de 1980-1990, y suponiendo que la concentración de Carbónico equivalente correspondiente al forzamiento radiactivo calculado por efecto de los GEI y aerosoles en 2100 es del valor que se expone para cada uno de los escenarios de emisiones.

De los datos del cuadro, hay que destacar que las proyecciones del nivel del mar no incorporan las incertidumbres del retroefecto clima-ciclo del carbono, ni los efectos íntegros de los cambios sobre el flujo del manto de hielo por falta de datos científicos suficientes, aunque sí incorporan los flujos de hielo 1993-2003 para Groenlandia y la Antártida. Si esta aportación aumentase linealmente con el cambio del promedio mundial de la temperatura, los tramos superiores del aumento del nivel del mar de la tabla, podrían incrementarse en 0, 1-0, 2 metros.

Las previsiones de emisiones mundiales de CO_2 asociadas a la energía, entre 1900 y 1990, y para los escenarios IE-EE entre 1900 y 2100, representadas en forma de índice (1900 = 1) ponen de manifiesto un incremento importante en todos los escenarios hasta el año 2050 y a partir de ese momento los escenarios que controlan el uso de combustibles fósiles iniciaran una tendencia ligeramente descendente, mas marcada en los escenarios A1T, A1B y B1.

Por lo que respecta a las proyecciones de emisiones de dióxido de carbono mundiales en los distintos escenarios, asociados al cambio de uso de la tierra, los resultados ponen de manifiesto una reducción de los intervalos máximos a partir de la tercera década del siglo, mas marcados en A1B, B1 y B2.

Las proyecciones de emisiones de gases efecto invernadero, a pesar de las limitaciones introducidas por el Protocolo de Kyoto, hasta el año 2100, para los seis escenarios comentados, ofrecen un panorama bastante poco alentador. Si bien es verdad que la mayor parte de los países se han comprometido con el protocolo de Kyoto, no es menos cierto que en este, como en casi todos los tratados internacionales hay países más o menos cumplidores y países menos rigurosos. Es verdad que el protocolo, por ser países en desarrollo, deja fuera a grandes productores de GEI como China, La india o Brasil, y limita, en función de su buena disposición las emisiones de los países mas desarrollados. Estados Unidos renuncia a cumplir los acuerdos del protocolo, si los demás países no hacen esfuerzos de intensidad similar a la suya. Increíble. La cumbre de Durban, recientemente celebrada, no ha alumbrado ningún acuerdo positivo, más que volver a reunirse.

Las emisiones de GEI crecerán desde un 40 a un 110% entre 2000 y 2030, (9, 7 a 36, 7 Gt CO_2-eq) siendo el escenario A2 el de porvenir mas incierto, mientras que el A1F1 a pesar de tener un mayor crecimiento en los próximos 50 años, luego tiende a estabilizarse o incluso a reducirse. En todo caso, parece que el mantenimiento del uso preferente de combustibles fósiles será el determinante principal de la evolución de las emisiones y no parece que la evolución demográfica de la población tenga una repercusión excesiva, puesto que esta no esta directamente ligada al crecimiento

económico de los países en vías de desarrollo. Además, sea cual sea la tasa de cambio que se escoja para el PIB (tipo de cambio de mercado –TCM– o paridad del poder adquisitivo –PPA) la proyección de las emisiones no resultaran especialmente afectadas, ya que de haber diferencias serán menores que las incertidumbres que genera el desarrollo tecnológico, cualitativo o cuantitativo.

Por lo que respecta al calentamiento de la superficie mundial en los escenarios de emisiones, repetidamente comentados, parece que será desigual, siendo mayor en la tierra firme en latitudes septentrionales altas y en el escenario A2 y menor en el escenario B1 y en el océano austral y en el norte del Atlántico norte. El calentamiento superficial respecto de 1980-1999, en el escenario A2, puede llegar a ser de hasta 7 grados en las zonas más septentrionales y en casi todo el planeta entre 2, 5 y 3, 5 grados, excepto el atlántico norte y los mares mas meridionales. Al finalizar 2029 las temperaturas podrán subir entre 1 y 2 grados, de acuerdo con la escala, en las tierras de latitud norte y menos en el pacifico occidental. Similar evolución de la temperatura puede producirse en los escenarios A1B, que correspondía a un acelerado crecimiento económico, a un máximo de habitantes a mitad de siglo y una aplicación tecnológica rápida y un uso equilibrado de combustibles fósiles y alternativos y en el escenario B1**,** que se corresponde con un modelo convergente, con una población similar a la A1 y una rápida evolución de su economía hacia los servicios y la información, superando la industrial. Por eso parece que el deterioro ambiental seria menor.

Como ya hemos comentado es probable que las olas de calor aumenten, y lo mismo sucederá con las precipitaciones, aunque de forma irregularmente repartida y de acontecimientos extremos. La mayor probabilidad es que aumenten cuantitativamente las precipitaciones en latitudes altas, reduciéndose en la mayor parte de las regiones subtropicales. Las previsiones de cambios en las precipitaciones, expresados en valores porcentuales, para el periodo 2009-2099, respecto del periodo 1980-1999, muestran un incremento de las lluvias en otoño e invierno en las zonas más septentrionales donde pueden subir un 20%, mientras que en las zonas de latitudes más bajas por encima del ecuador, especialmente en África occidental, mediterráneo y en oriente medio pueden reducirse en más de un 20%. En las épocas de primavera y sobre todo verano, las previsiones de precipitaciones, se comprueba que la situación más grave puede plantearse en el sur de Europa y en el norte de África, y de menor intensidad en América Central y parte de América del Sur.

Las variaciones en la temperatura atmosférica y la circulación océano-atmósfera, condicionaran profundas modificaciones en el comportamiento de los vientos futuros, con importantes cambios de presión y ciclones tropicales mas intensos, con vientos mas fuertes y precipitaciones mas intensas. La trayectoria de los ciclones o de las tempestades extratropicales, también denominados de latitud media, progresara hacia los polos con cambios en las pautas de comportamiento de vientos, presiones y temperaturas. El fenómeno denominado “ciclogénesis explosiva”, que produce ciclones que circulan afectando al occidente europeo, podrán verse incre-

mentados. El ciclón KIRIN, ocurrido en febrero de 2010, afectó a la parte mas occidental de nuestro país, lo mismo que el ciclón Klaus, ocurrido el 23-24 de febrero de 2009, afectando a Galicia.

El aumento de la población, el desarrollo económico, los usos de la tierra y la urbanización aumentaran el estrés sobre los recursos hídricos y la afectación de las masas de nieve y hielo pondrán en riesgo la disponibilidad de agua dulce y el potencial hidroeléctrico, alterando la estacionalidad de los flujos. Los cambios de las precipitaciones y la temperatura inducen cambios en las escorrentías, que, previsiblemente, aumentarán entre un 10 y un 40% en latitudes superiores y áreas tropicales pluviales y disminuiría entre un 10 y un 30% en regiones secas de latitudes medias. Es previsible que las zonas semiáridas del mediterráneo, del oeste de Estados Unidos, el sur de África o el nordeste del Brasil, padecerán una disminución de los recursos hídricos, por efecto del cambio climático. En todo caso, parece, que los impactos negativos de los cambios climáticos sobre los sistemas de agua dulce superaran con creces a los beneficios posibles.

Si se cumplen las previsiones de evolución en el siglo XXI de temperatura, precipitaciones y vientos la desertificación será, previsiblemente muy alta, en el occidente de Estados Unidos, las zonas próximas al ecuador y al Sahara, así como los países subsaharianos y una zona del oriente medio y del sur de Asia y la región mediterránea.

Sin embargo, no todas las regiones son igualmente vulnerables al cambio climático, entendiendo por tal “El grado en que los sistemas son susceptibles a los impactos adversos, e incapaces de hacerles frente”. Una amplia franja de terreno en Europa, por encima del Mediterráneo muestra menor vulnerabilidad, y lo mismo ocurre con la costa oriental de Estadios Unidos y Canadá y la mitad noroccidental de Sudamérica.

De acuerdo con el nivel de conocimientos actuales, existe una alta probabilidad de que la resiliencia de muchos ecosistemas se vea superada por una combinación de cambios climáticos y otras perturbaciones asociadas (inundaciones, sequías etc.) y otros elementos como sobreexplotación de recursos, mal uso de la tierra, contaminación etc. De mantenerse la incorporación neta de GEI y sobre todo carbónico a la atmósfera podría producirse la perdida de entre un 20 y un 30% de especies, si la temperatura sube entre 1, 5 y 2, 5 grados; podrán alterarse la estructura y función de muchos ecosistemas, interacciones ecológicas con grave repercusión en la biodiversidad, cuando la temperatura se eleve mas de 2, 5 grados.

La productividad de los cultivos aumentará ligeramente en latitudes altas o medias, para aumentos de temperatura entre 1 y 3 grados, mientras que en las regiones secas y tropicales la productividad de los cultivos disminuirá con el riesgo de reaparición de hambrunas. Consecuencia de ello seria un incremento del potencial de producción alimentaria mundial, si el promedio local de temperatura aumentara 1-3ªC, aunque si la temperatura es mayor, disminuiría.

Las costas estarán expuestas a mayores riesgos, y a la erosión por aumento del nivel del mar, efecto que aumentará por la presión humana sobre las zonas costeras. Hasta 2080, millones de personas de zonas costeras padecerán anualmente inundaciones, afectándose más las deltas de baja altura y alta densidad demográfica de Asia y África. Las sociedades mas vulnerables son las situadas en llanuras costeras y planicies fluviales y aquellas cuya economía está vinculada a recursos sensibles al clima, además de las situadas en áreas propensas a acontecimientos meteorológicos extremos, 76y mas donde los procesos de urbanización son rápidos. Las comunidades mas pobres serán mas vulnerables y tanto mas cuanto mas se encuentren en zonas de riesgo.

Todas estas previsiones, aun considerando las numerosas incertidumbres que hemos comentado podrán tener su impacto en los territorios de la Unión Europea. La Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA), resumía en el año 2010 los efectos previsibles de los cambios de temperatura, precipitaciones, escorrentías, vientos y demás elementos del clima en el ámbito geográfico de los Estados Miembros.

En la *zona mediterránea*, la característica básica será el aumento de la sequía y la disminución de las precipitaciones, con sus consecuencias hidrológicas, sobre abastecimientos, cultivos, incendios, energía hidroeléctrica, olas de calor, enfermedades vectoriales, pérdida de turismo estival y riesgo de desertificación. En los *mares europeos*, el aumento de las temperaturas superficiales producirá un aumento del fitoplancton, desplazamiento de especies hacia el norte y riesgo para la población piscícola, sin perjuicio del aumento de nivel del mar y riesgo en zonas bajas. En la *Europa noroccidental*, todas las consecuencias serán las derivadas del aumento de las precipitaciones (aumento del caudal de los ríos, llegada de nuevas especies piscícolas, riesgo de inundaciones costera etc.) *En el Ártico*, la perdida de placa de hielo en general y en Groenlandia, en particular, conllevara un deterioro de la biodiversidad. En la *Europa septentrional*, el aumento de las precipitaciones y la perdida de nieve y hielo, aumentara el caudal de los ríos, elevara la producción de energía hidroeléctrica, podrá ocasionar daños por tormentas invernales, y por el incremento de temperatura crecerán mas los bosques, habrá mejores cosechas y mejorará el turismo estival. En las *zonas de montaña*, la disminución del permafrost, el aumento fuerte de la temperara, la perdida de masa glaciar, llevaran consigo la reducción del turismo de nieve, el mayor riesgo de erosión del suelo, y desprendimientos de rocas y deslizamientos de montañas. En la *Europa central y oriental*, crecerán los riesgos de acontecimientos extremos, con más inundaciones en invierno y más calor en verano, menos estabilidad de los bosques y variabilidad en la producción agrícola.

Las consecuencias, acreditadas en las numerosas investigaciones efectuadas, que el cambio climático esta produciendo sobre todos los ecosistemas en general y sobre la salud humana en particular, a pesar de todas las incertidumbres que hemos comentado, plantea un importante desafío en una sociedad globalizada y exige la colaboración de todos los gobiernos, organizaciones y ciudadanos, adoptando una actitud beligerante ante estos hechos y poniendo en marcha las medidas de mitiga-

ción posibles con la tecnología actual, para reducir los daños y de adaptación ante los riesgos que no puedan evitarse.

BIBLIOGRAFÍA

AEMA, 2010. *El medio ambiente en Europa: Estado y perspectivas 2010* – Síntesis. Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhague.

Albritton DL, Meiro–Filho LG et al. In: Climate Change 2001: *The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC.Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY.

Charlson, R.J., y J. Heinztenberg (Eds.): *Aerosol Forcing of Climate*, págs. 91 a 108, 1995, John Wiley and Sons Limited.

Convenio Marco de las naciones unidas contra el Cambio Climático, se puede encontrar disponible en http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pd

Declaración De Dehi de la Asociación Meteorológica Mundial. Adaptada por la 60 Asamblea General. Nueva Delhi, India 2009.

Flanenery Tim. (2006) "La amenaza del cambio climatico. Historia y futuro". *Santillana ediciones*. Madrid.

Houghton, JT. Callander, BA. y Varney, S. "*Cambio Climático 1992": Informe suplementario a la evaluación científica del IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

Houghton, JT. Meira Filho, LG. Bruce, J. Hoesung Lee, Callander, BA. Haites, E. Harris, N. y Maskell, K. "*Cambio Climático 1994: Forzamiento radiativo del cambio climático y evaluación de los escenarios de emisiones"* Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE.UU.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). "*Cambio climático y salud humana: riesgos y respuestas*". Resumen actualizado 2008". Washington, D.C.: OPS, 2008.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)-GTE. "*La protección de la capa de ozono y el sistema climatico mundial: Cuestiones relativas a hidrofluorocarbonados y a perfluorocarbonos".* Ginebra. 2005.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). "*Cambio climático 2007: las bases científicas y fisica"* Grupo de trabajo I. Cuarto informe del IPCC. Ginebra. 2007.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *"Cambio climático: mitigación del cambio climatico"*. Grupo de trabajo III. Cuarto informe del IPCC. 2007.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *"Climate Change 2007":* Fourth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *"Climate Change 2001, Impacts, adaptation and vulnerability*". Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC). *"Cambio Climatico Y Biodiversidad"*. 2002, Documento Técnico.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *"Directrices técnicas para evaluar los impactos del cambio climático y las estrategias de adaptación"*. 1995.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *"Cambio climático 1995: La ciencia del cambio climático"*. Segundo informe de evaluación bajo los auspicios del Grupo de Trabajo I del IPCC. 1996.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Cambio climático 2005. Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático"* Segundo informe de evaluación. 2006.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *"Cambio climático 1995: Las dimensiones económicas y sociales del cambio climático*". Documento para el Segundo informe de evaluación. Grupo de trabajo III. 1996.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Documento técnico I: "*Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático"*. 1996.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Documento técnico II: *"Introducción a los modelos climáticos simples"* utilizados en el Segundo informe de evaluación del IPCC. 1997.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Documento técnico III: *"Estabilización de los gases atmosféricos de efecto invernadero: implicaciones físicas, biológicas y socioeconómicas*" 1997.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1997: "*Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories"* [J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. Lim, K. Tréanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D. J. Griggs y B. A. Callander

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1997. "*Implicaciones de las propuestas de limitación de emisiones de CO2". Dopcumento técnico 4.* [J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, D. J. Griggs y M. Noguer (eds.)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). "*Cambio climático 2001: Informe Síntesis".* Contribuciones de los Grupos de Tabajo I, II, y III al Tercer Informe de Evaluación del IPCC. 2001

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC. *"Cambio climático y salud humana: riesgos y respuestas: Resumen actualizado 2008".* Washington, D.C.: OPS, © 2008.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Documento técnico V: "*Cambio climático y biodiversidad"*. 2002

Jacques Guy y Herve Letreut. *"El Cambio climatico*". 2005. UNESCO. Paris.

Kelfkens, G. et al. "*Ozone layer— climate change interactions. Influence on UV levels and UV related effect"s*. Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change. Report no.: 410 200 112.

McMichael AJ et al. *"The Sustainability Transition: A new challenge*" (Editorial). Bull WHO, 78: 1067 (2000).

Nakicenovic, N. J., Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T. Y. Jung, T. Kram, E. L et al. "*Escenarios de emisiones*". Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC Cambridge University Press, 2000. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE.UU.

Parry, M.L. & Carter, T. *"Climate impact and adaptation assessment*". London, UK, EarthScan, 1998.

Patz, J.A. et al. "*The potential health impacts of climate variability and change for the United States":* executive summary of the report of the health sector of the U.S. National Assessment. Environmental Health Perspectives, 108(4): 367–76 (2000).

Rayner, S. Malone, E.L. "*Climate change, poverty and intragenerational equity: the national level"*. In: Climate change and its linkages with development, equity and sustainability. Proceedings of the IPCC Expert Meeting held in Colombo, Sri Lanka, 27–29 April, 1999. Washington D.C., USA, World Bank, pp. 215–242, 1999

Scheraga, Joel D. y Anne E. Grambsch, *"Risks, opportunities, and adaptation to climate change".* Climate Research, Vol. 10, 1998, 85–95.

Schwartz, S. E. y P. Warneck, 1995: "*Units for use in atmospheric chemistry"*, Pure & Appl. Chem., 67.

Toharia Cortes, Manuel. *"Cambio climatico: Evidencia, causas y consecuencias".* Revista de la Real Academia de Medicina de Salamanca. 2005.

UNDP. *"Informe sobre Desarrollo Humano 2000: Derechos humanos y desarrollo humano*". Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Oxford University Press, New York, NY, USA.

US Environmental Protection Agency. "*Greehouse effects schematic*" (2001).

Viviente Lopez, Enrique. "*Clima, meteorología y salud. El cambio climático y su influencia en la misma*" Real Academia de Medicina y Cirugía de Murcia. 2008.

Walther, G. et al. *"Ecological responses to recent climate change"*. Nature 416: 389–395 (2002).

Watson RT., Noble IR, Bolin B, Ravindranath NH, Verardo et al. "*Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura"*. Informe especial del IPCC.2000. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE.UU.

Watson, R.T. et al. *"The Regional Impacts of Climate Change. An assessment of vulnerability"*. A Special Report of IPCC Working Group II. Cambridge, U.K: Cambridge University Press (1998).

W.H.O. *Guias de calidad del aire de la OMS*. WHO. Ginebra. 2006.

WMO/UNEP. *"Scientific Assessment of Ozone Depletion*, " 2002.

Woodward AJ, et al. *"Protecting human health in a changing world: the role of social and economic development*". Bulletin of the World Health Organization. 78: 1148–1155 (2000).